

Identificación de variedades de nectarina con apariencia similar y diferente sabor mediante imagen hiperespectral

En la actualidad, el consumidor dispone de nuevas variedades de nectarina que coinciden en periodo de recolección y que presentan un aspecto externo muy similar, pero diferentes propiedades fisicoquímicas y por lo tanto distinto sabor. La similitud externa aumenta el riesgo de que se puedan mezclar durante el proceso de confección y causen confusión y rechazo entre los consumidores, ya que algunas pueden ser dulces y otras ácidas. Por ello, es importante la creación de herramientas automáticas capaces de diferenciar entre estas variedades tan similares que el ojo humano apenas puede apreciar diferencias. La visión artificial puede ser una tecnología adecuada para esto, pero las cámaras estándar están fabricadas de forma que imitan al ojo humano y por lo tanto tampoco son capaces de distinguir estas variedades con precisión.

La tecnología de imagen hiperespectral visible e infrarroja, por el contrario, permite obtener información de una parte de la fruta, que aun externa, está debajo de la piel lo que permite obtener información sobre su composición. En este trabajo se ha estudiado la aplicación de imagen hiperespectral para diferenciar dos variedades de nectarinas con un aspecto muy similar pero de diferente sabor. Se obtuvieron imágenes de las variedades 'Diamond Ray' y 'Big Top' porque son consideradas como referencia de variedades ácidas y dulces y se utilizó el método de análisis discriminante de mínimos cuadrados parciales (PLS-DA) para desarrollar un modelo de clasificación. Este modelo ha permitido distinguir las con una precisión del 96% empleando 14 longitudes de onda seleccionadas, mientras que las imágenes estándar de color, al igual que un panel entrenado de expertos, solo lograron una tasa de clasificación correcta del 57%.

PALABRAS CLAVE: nectarina, fruta de hueso, calidad, clasificación, no destructivo, análisis de imagen, imagen hiperespectral.

S. Munera¹, J.M. Amigo², N. Aleixos³, P. Talens⁴, S. Cubero¹, J. Blasco^{1*}

¹ Centro de Agroingeniería. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Moncada (Valencia). *blasco_josiva@gva.es

² Department of Food Sciences, Faculty of Science, University of Copenhagen. Dinamarca.

³ Departamento de Ingeniería Gráfica. Universitat Politècnica de València. Valencia.

⁴ Departamento de Tecnología de Alimentos. Universitat Politècnica de València. Valencia.

INTRODUCCIÓN

La nectarina es una de las frutas que mayor esfuerzo le ha sido dedicado para mejorar su rendimiento agronómico y mejorar la apariencia y calidad (Reig, Alegre, Gatiús, e Iglesias, 2013). Esto ha resultado en un aumento significativo en la cantidad de nuevas variedades disponibles para los productores de fruta. La mayoría de las variedades son similares en apariencia pero algunas de ellas presentan diferentes propiedades sensoriales y, por lo tanto, una aceptación diferente por parte de los consumidores (Iglesias y Echeverría, 2009). Sin embargo, la falta de una identificación adecuada del producto

en el mercado y su mezcla accidental o intencionada en el mercado podría llevar al rechazo de los consumidores, lo que a su vez podría afectar a las ventas y los precios (Iglesias, 2012).

Tradicionalmente, la evaluación interna de la calidad de los frutos de hueso se ha llevado a cabo mediante métodos destructivos, que son caros, contaminantes, requieren mucho tiempo y solo se pueden controlar unas pocas muestras aleatorias por lote. Existe, por lo tanto, una necesidad de desarrollar metodologías no destructivas e instantáneas que permitan determinar de una manera objetiva la calidad de la fruta y

además, en caso de duda, identificar correctamente la variedad a la que pertenece.

La imagen hiperespectral es una técnica de visión artificial que combina imágenes digitales convencionales con espectroscopia y que permite detectar características de la fruta en regiones del espectro electromagnético donde el ojo humano no es capaz de detectarlas, como las regiones ultravioleta o infrarroja (Lorente *et al.*, 2012). Esta técnica se está empezando a explorar como una herramienta científica para garantizar la calidad de una amplia gama de alimentos. Dentro de las frutas de hueso, el melocotón ha sido el más estudiado

por ejemplo para estimar madurez (Herrero-Langreo *et al.*, 2011), firmeza (Zhu *et al.*, 2016) o daños (Sun *et al.*, 2017). Con respecto a la nectarina, Huang *et al.* (2015) utilizaron esta técnica para detectar daños mientras que Munera *et al.* (2017) la usaron para determinar el estado de madurez.

Se han realizado ya algunos estudios para diferenciar entre variedades de nectarina utilizando imágenes en color como el llevado a cabo por Font *et al.*, (2014). Sin embargo, se utilizaron frutas con una apariencia diferente. En este trabajo, debido a su aspecto prácticamente idéntico de piel y pulpa, y a la vez a su diferente sabor, las variedades utilizadas han sido 'Diamond Ray' y 'Big Top'. Además, estas variedades se recolectan y comercializan en un periodo coincidente de tiempo. Por ello, el objetivo de este trabajo es estudiar la aplicación de imágenes hiperespectrales y métodos de análisis multivariante para desarrollar modelos estadísticos predictivos que permita distinguir entre estas dos variedades de nectarinas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se han utilizado frutas de las variedades 'Diamond Ray' y 'Big Top' porque son consideradas como referencia de variedades ácidas y dulces, respectivamente (Reig, Iglesias y Echeverría, 2009) y, como se observa en la **Figura 1**, presenta una apariencia muy similar. Se recolectaron en un campo comercial en Lérida un total de 125 frutas de cada variedad, con madurez comercial, sin defectos ni daños externos. Durante los ensayos, las frutas se almacenaron en condiciones controladas para evitar una sobremaduración.

Una imagen estándar en color está compuesta por tres imágenes obtenidas en tres longitudes de onda concretas: una roja, una verde y una azul, que se combinan para crear los colores que percibimos. Una imagen hiperespectral está compuesta por un elevado número de longitudes de onda consecutivas obtenidas cada pocos nanómetros. Así, si una imagen en color tiene tres longitudes de

onda, una hiperespectral puede tener 50, 100 o más. Las imágenes hiperespectrales de las frutas intactas se obtuvieron por una cámara industrial acoplada a dos filtros sintonizables de cristal líquido (LCTF), capaces de adquirir imágenes entre 450 nm y 1040 nm (**Figura 2**). El sistema se configuró para capturar imágenes de 1392 x 1040 mm/pixel cada 10 nm (60 bandas). De esta forma, se obtuvo el espectro de la nectarina en ese rango espectral en cada uno de los píxeles de la imagen. La iluminación consistió en 12 halógenos que iluminaron la escena indirectamente por medio de la reflexión difusa, en una cúpula de aluminio donde las nectarinas se introducían manualmente. Una vez capturada la imagen, se obtuvo el espectro promedio de todos los píxeles de la nectarina.

Además, se obtuvo una imagen en color en alta resolución de cada fruta, y su color externo en el espacio CIELAB mediante un colorímetro (Minoltacm-700d, Minolta Co. Tokio, Japón). El color medio de cada fruta con el colorímetro se obtuvo promediando dos medidas, una en la zona más roja del fruto y otra en la zona amarilla. Las imágenes de color se tomaron con un cámara réflex (Canon EOS 550D, Canon Inc. Japón), con un tamaño de 2592 x 1944 píxeles. A partir de estas imágenes se obtuvieron los valores medios de las coordenadas L^* , a^* , b^* de la piel de cada nectarina, así como el porcentaje de las zonas roja y amarilla. Para esto se utilizó un software de análisis de imagen desarrollado en el IVIA (FoodImage-Inspector v4.0, disponible en <http://www.cofilab.com>). Además, se realizó un análisis visual por un panel semientrenado compuesto por cinco panelistas (tres hombres y dos mujeres de entre 29 y 50 años). Cada panelista se entrenó previamente con 20 imágenes en color (10 de cada variedad). Después se les presentó un total de 40 imágenes de nectarina (20 de cada variedad) aleatoriamente para que las clasificaran como pertenecientes a la variedad 'Diamond Ray' o 'Big Top'.

La caracterización de las propiedades fisicoquímicas de las dos variedades

se realizó tras la toma de imágenes. La firmeza se registró en los dos lados opuestos de la fruta usando un texturómetro (XT2 Stable, MicroSystems Haslemere, Reino Unido). Después, se tomó una muestra de zumo para la medición de los sólidos solubles usando un refractómetro digital (RFM330-VWR, Internacional Eurolab S.L., Barcelona) y se midió la acidez usando un pHmetro (pH-Burette 24, Crison, Barcelona). Los resultados se expresaron como porcentaje de sólidos solubles y porcentaje de ácido málico, respectivamente.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y un test de Tukey para determinar la existencia de diferencias estadísticas entre las variedades de acuerdo a sus propiedades fisicoquímicas. Para clasificar las nectarinas de acuerdo a su variedad, se realizó un análisis discriminante basado en mínimos cuadrados parciales (PLS-DA). Se construyeron dos modelos, uno usando las imágenes hiperespectrales y otro utilizando las imágenes en color para comparar ambas técnicas. Se usaron dos tercios de las muestras para construir el modelo y el tercio restante se utilizó para validarlo.

RESULTADOS

La **Tabla 1** muestra los resultados de los análisis de las propiedades fisicoquímicas de las dos variedades. Las medidas de firmeza obtenidas para ambas no mostraron diferencias significativas, lo que significa que las frutas estaban en un estado similar de madurez. Como ya se ha señalado, la principal diferencia entre estas dos variedades es el sabor; es decir, los valores típicos de sólidos solubles para 'Big Top' (12,7%) son más altos y significativamente diferentes que los obtenidos para 'Diamond Ray' (11,9%), y al revés para el contenido en acidez, 0,4 % y 0,7 % respectivamente.

En cuanto al color, los valores medios obtenidos de las coordenadas L^* , a^* , b^* utilizando el colorímetro no fueron estadísticamente diferentes entre las variedades. Cuando se analizó el color con las imágenes de color, se

pudo cuantificar y verificar que el porcentaje medio de las zonas rojas y amarillas es similar en ambas variedades (67% de zona roja y 33% de zona amarilla). Las diferencias encontradas resultaron ser demasiado pequeñas para que las detecte el ojo humano, especialmente durante un proceso rápido de clasificación de fruta.

La **Figura 3** muestra los espectros medios de ambas variedades. Se observa que siguen un patrón espectral similar pero con claras diferencias en algunas longitudes de onda (λ) específicas. En la región visible (450-740 nm) apenas se visualizan diferencias entre 400 y 600 nm, donde están presentes los carotenoides. Sin embargo, alrededor de 680 nm, longitud de onda que asocia a las clorofilas, la variedad 'Big Top' presenta menos reflectancia (o mayor absorbancia) que 'Diamond Ray', lo que sugiere un mayor contenido de esta molécula. En la región del infra-rojo cercano (750 - 1040 nm) se observan diferencias en las bandas relacionadas con absorción de agua (alrededor de 970 nm), siendo el pico de absorción más pronunciado en nectarinas 'Diamond Ray'.

Como ya se ha comentado, la clasificación de las frutas de acuerdo a su variedad se realizó usando la imagen hiperespectral, la imagen de color y un panel semientrenado. Como muestra la **Tabla 2**, prácticamente la mitad de las frutas clasificadas visualmente por el panel fueron erróneas, lo que demuestra la dificultad del ojo humano para distinguir entre estas dos variedades de nectarinas. La clasificación usando imagen en color tuvo una precisión similar a la del panel (56,9%), lo que indica que estos sistemas, basados en la percepción humana tampoco son adecuados para este tipo de inspección de calidad. Estos resultados de clasificación son bajos en comparación con los resultados obtenidos con las imágenes hiperespectrales. Cuando se usó la información espectral de las 60 bandas, las dos variedades se clasificaron con un éxito superior al 94%.

Estos resultados concuerdan con el trabajo realizado por Nogales-Bueno

Tabla 1. Resultados de los análisis fisicoquímicos de ambas variedades.

		'Diamond Ray'		'Big Top'	
		Valor medio	DE	Valor medio	DE
Firmeza (N)		33,8 a	9,5	34,8 a	7,1
Sólidos solubles (%)		11,9 b	1,6	12,7 a	2,3
Acidez (%)		0,7 a	0,1	0,4 b	0,1
Colorímetro	L*	36,9 a	6,6	36,5 a	6,0
	a*	27,0 a	4,2	26,2 a	3,9
	b*	13,3 a	5,1	13,4 a	4,9
Imagen RGB	L*	28,0 a	8,6	27,0 a	8,2
	a*	44,9 a	5,4	41,0 b	5,5
	b*	27,2 a	8,8	24,8 b	8,6
	Zona roja (%)	67,0 a	21,4	66,3 a	18,4
	Zona amarilla (%)	33,0 a	21,4	33,7 a	18,4

Letras diferentes en la misma línea indican diferencias significativas entre variedades (P -valor<0,05), de acuerdo al test de Tukey. DE= desviación estándar.

Tabla 2. Resultados de clasificación de las frutas usando los tres métodos.

Método	% frutas de cada variedad clasificadas correctamente		% total de clasificación correcta
	'Diamond Ray'	'Big Top'	
Análisis visual (panel)	54,0	55,0	54,5
Imagen RGB (L*, a*, b*)	64,8	49,0	56,9
Imagen hiperespectral (60 λ)	94,4	94,4	94,4
Imagen hiperespectral (14 λ)	94,8	97,8	96,3

et al., (2015) que utilizaron imágenes hiperespectrales e imágenes de color para discriminar entre cuatro variedades de uva roja. Solo el 52% de las muestras se clasificaron correctamente utilizando imágenes de color. Sin embargo, el éxito aumentó al 86% cuando se usaron imágenes hiperespectrales. Por otro lado, Font *et al.* (2014) describieron un sistema en línea para la verificación de variedades de nectarina usando características de color con un éxito del 100% al comparar tres variedades con otra variedad de referencia. En el mismo experimento, la clasificación visual con un panel logró el 86% de clasificación correcta. El elevado éxito de clasificación obtenido tanto por el sistema automático como por el panel visual se debió, probablemente, a las grandes diferencias existentes entre las variedades estudiadas.

A la hora de idear un sistema de clasificación automático en línea, es importante reducir la complejidad

computacional generada por la gran cantidad de datos obtenidos por el sistema de imágenes hiperespectrales. Este problema se puede aliviar mediante el uso de técnicas de reducción de la dimensionalidad de los datos que son capaces de seleccionar unas pocas longitudes de onda reteniendo la mayor parte de la información. El método utilizado para seleccionar las longitudes de onda más importantes fue el estudio del vector de coeficientes de regresión, obtenido a partir de los modelos PLS-DA. Se seleccionaron las longitudes de onda con un mayor valor absoluto, siendo un total de 14 (630, 650, 680, 720 750-770, 790, 810-840, 860 y 900 nm). A partir de las imágenes de estas longitudes de onda, se construyó un nuevo modelo PLS-DA, obteniendo un porcentaje mayor de clasificación total (96,3%) resultando mejor clasificada la variedad 'Big Top' (**Tabla 2**).

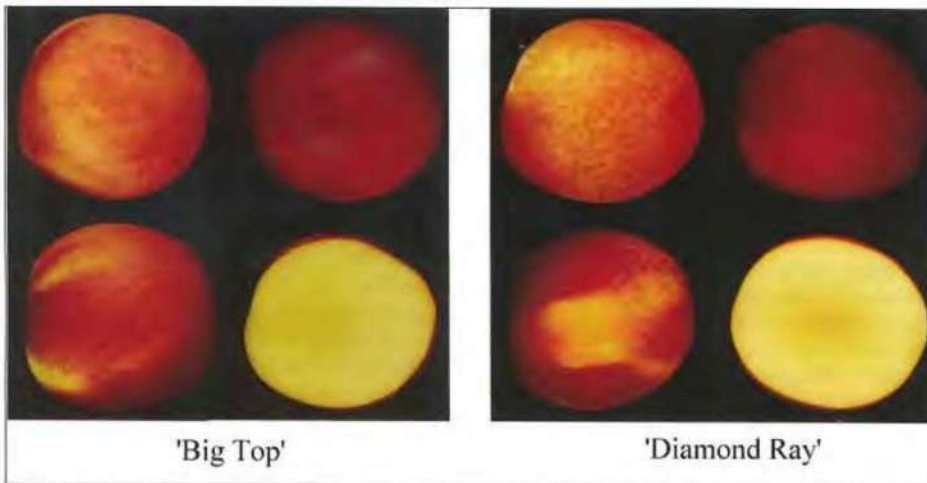


Figura 1. Apariencia externa e interna de las dos variedades de nectarina estudiadas.

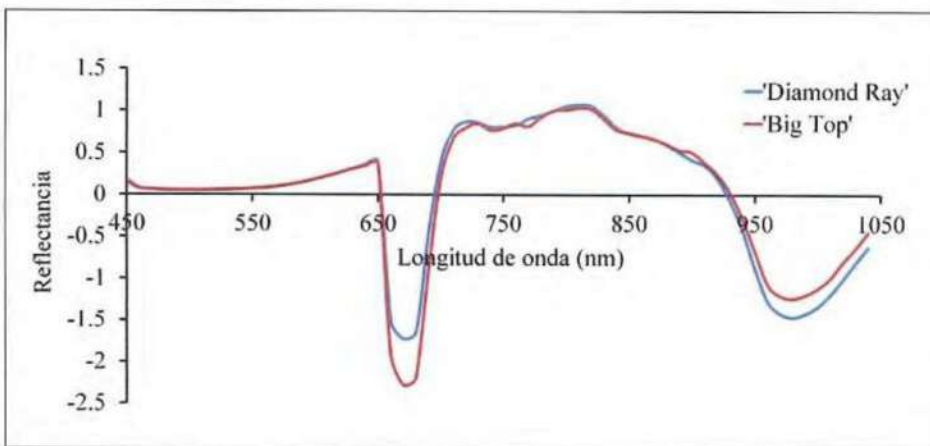


Figura 3. Espectro medio de cada variedad.

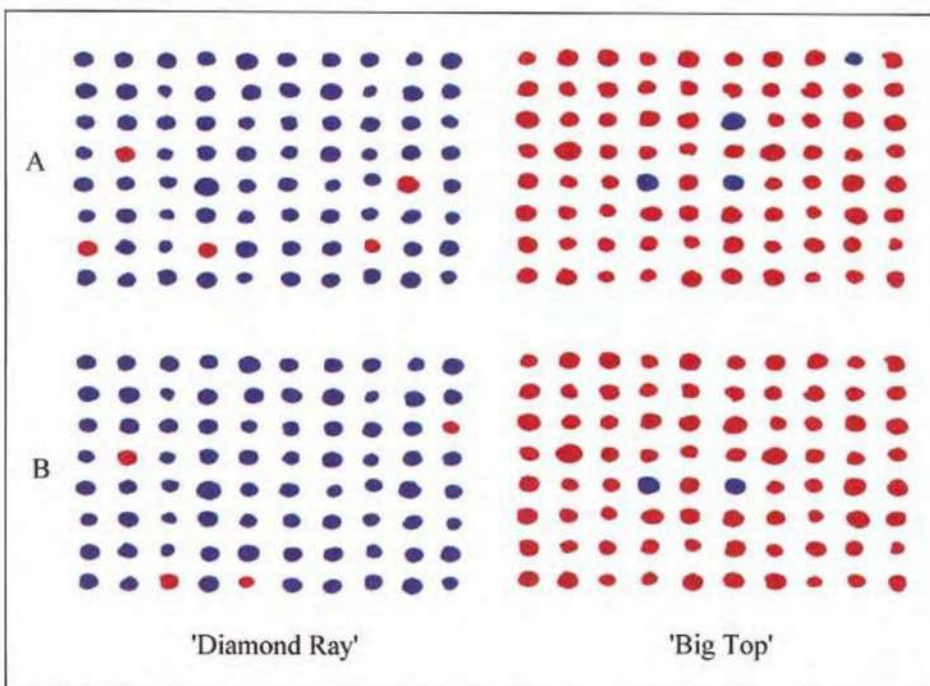


Figura 4. Visualización de la clasificación de las frutas de acuerdo a su variedad usando imagen hiperespectral. A) Usando todas las longitudes de onda (60 λ); B) Usando las longitudes seleccionadas (14 λ).

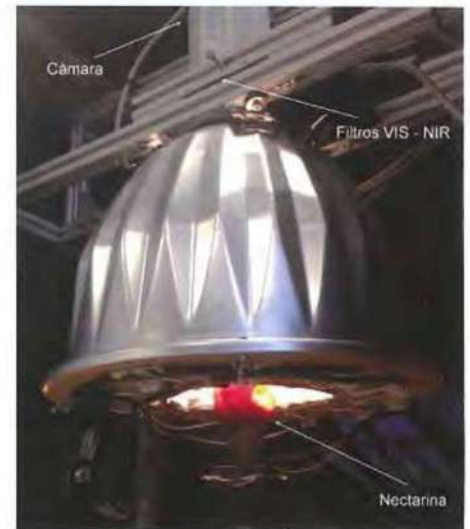


Figura 2. Sistema hiperespectral.

Finalmente, para mostrar el resultado obtenido de una forma visual, la **Figura 4** muestra las frutas coloreadas en azul si el modelo asignó el espectro medio a 'Diamond Ray' y en rojo si fue asignado a 'Big Top'. Así, se puede observar como el modelo creado usando sólo 14 bandas funcionó mejor que el construido a partir del espectro completo.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha demostrado el potencial de la imagen hiperespectral para discriminar variedades muy similares de nectarina. La clasificación de estas dos variedades usando imágenes de color o un panel entrenado fue baja, logrando una clasificación correcta cercana al 50%. Sin embargo, utilizando la información espectral se clasificaron correctamente el 94,4% de las frutas. Para disminuir la cantidad de información presente en las imágenes hiperespectrales y pensar en una posible aplicación práctica, se seleccionaron un total de 14 longitudes de onda. Con ellas, el nuevo modelo de clasificación obtuvo una mayor clasificación (96,3%).

De acuerdo a estos resultados, la imagen hiperespectral presenta un gran potencial de futuro como herramienta rápida y no destructiva en la discriminación de variedades muy parecidas externamente, pero de composición diferente, permitiendo la

selección de las variedades que mejor se adapten a las preferencias de los consumidores. Sin embargo, estos resultados se deben confirmar a través de nuevos experimentos utilizando un conjunto mayor de frutas, cultivadas en diferentes zonas y cosechadas en diferentes etapas de madurez antes de que pueda implementarse en un sistema en línea.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Instituto Nacional de Investigación de Tecnología Alimentaria y Alimentaria (INIA) y los fondos FEDER a través del proyecto RTA2015-00078-00-00. Sandra Munera agradece al INIA la beca FPI-INIA nº 43 (CPR2014-0082), financiada parcialmente por los fondos europeos FSE. Los autores agradecen a Fruits de Ponent (Lleida) la provisión de la fruta.

BIBLIOGRAFÍA

- Font D., Tresanchez M., Pallejà T., Teixidó M., Martínez D., Moreno J., Palacín J. 2014. An image processing method for in-line nectarine variety verification based on the comparison of skin feature histogram vectors. *Computers and Electronics in Agriculture* 102, 112-119.
- Herrero-Langreo A., Lunadei L., Lleó L., Diezma B., Ruiz-Altisent M. 2011. Multispectral Vision for Monitoring Peach Ripe-ness. *Journal of Food Science* 2, 178-187.
- Huang F., Zhang S., Yang Y., Man Z., Zhang X., Wu Y. 2015. Application of hyperspectral imaging for detection of defective features in nectarine fruit. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery* 11, 252-259.
- Iglesias I., Echeverría G. 2009. Differential effect of cultivar and harvest date on nectarine colour, quality and consumer acceptance. *Scientia Horticulturae* 120, 41-50.
- Iglesias I. 2012. Producción, consumo e innovación varietal en el melocotón. *Alimentación, Equipos y Tecnología* 268, 25-31.
- Lorente D., Aleixos N., Gómez-Sanchis J., Cubero S., García-Navarrete O.L., Blasco J. 2012. Recent advances and applications of hyperspectral imaging for fruit and vegetable quality assessment. *Food Bioprocess Technology* 5, 1121-1142.
- Munera S., Amigo J.M., Blasco J., Cubero S., Talens, P., Aleixos, N. 2017. Ripeness monitoring of two cultivars of nectarine using VIS-NIR hyperspectral reflectance imaging. *Journal of Food Engineering* 214, 29-39.
- Nogales-Bueno J., Rodríguez-Pulido F.J., Heredia F.J., & Hernández-Hierro J.M. 2015. Comparative study on the use of anthocyanin profile, color image analysis and near-infrared hyperspectral imaging as tools to discriminate between four autochthonous red grape cultivars from LaRioja (Spain). *Talanta* 131, 412-416.
- Reig G., Alegre S., Gatiús F., Iglesias I. 2013. Agronomical performance under Mediterranean climatic conditions among peach [*Prunus persica* (L.) Batsch] cultivars originated from different breeding programs. *Scientia Horticulturae* 150, 267-277.
- Reig G., Iglesias I., Echeverría G. 2009. Agronomical performance, fruit quality and sensory attributes of several flat peach and flat nectarine cultivars. VII International Peach Symposium 962. Pp. 563-569.
- Sun Y., Gu S., Sun K., Hu H., Xu M., Wang Z., Tu K., Pan, L. 2017. Hyperspectral reflectance imaging combined with chemometrics and successive projections algorithm for chilling injury classification in peaches. *LWT - Food Science and Technology* 75, 557-564.
- Zhu N., Lin M., Nie Y., Wu D., Chen K. 2016. Study on the quantitative measurement of firmness distribution maps at the pixel level inside peach pulp. *Computers and Electronics in Agriculture* 130, 48-56.

Nuevo diseño mejorado de su envase AIRFRUIT

Rambleños le ha dado una vuelta de tuerca más a sus cajas AIRFRUIT y ha presentado un nuevo diseño mejorado pensado para el transporte de productos agrícolas en largos trayectos. En concreto, este nuevo desarrollo incorpora una cantonera adaptada al perfil octogonal de estos envases de forma que incrementan su consistencia. Este diseño mejorado ha sido una de las novedades enfocadas al sector agroalimentario que esta planta de Hinojosa ha presentado en Fruit Attraction 2018.

El sistema AIRFRUIT cumple además con las demandas crecientes de productores, retailers y consumidores de envases sostenibles con el medio ambiente. Esta caja es 100% reciclable y más eficiente energéticamente. Su diseño patentado acelera los procesos de enfriamiento de la fruta en cámara un 26%, facilitando el circuito de aire a través de su diseño altamente ventilado, manteniendo sus características resistentes.

Junto con el sistema AIRFRUIT, Rambleños completa su portafolio de envases y embalajes para el sector hortofrutícola con una extensa gama de envases primarios, aquellos que están en contacto directo con los alimentos, 100% sostenibles como sus envases para pizzas o barquetas para fruta.



TROPS celebra el récord de la campaña de mango

La cooperativa líder de producción y comercialización de mango nacional ha superado las 15.000 toneladas de producto en su campaña de 2018, con un aumento del 30% en volumen de producción respecto a 2017. TROPS ha revelado estos datos en la X edición de la Feria Internacional de Frutas y Hortalizas, Fruit Attraction, y en el que estuvo presente el primer día, el chef 2 estrellas Michelin, Dani García, que ha sido imagen de la campaña de mango de TROPS en esta temporada.

Para TROPS este evento "es un encuentro muy importante, estratégicamente hablando, no solo con nuestros clientes nacionales e internacionales, sino con proveedores de América", según comenta Alejandro Clavero, comercial de Trops. "Somos fieles a la feria desde su primera edición y la evolución ha sido muy buena, siempre tenemos las agendas de visitas comple-

tas y el stand muy concurrido". Se une a este sentimiento de satisfacción Enrique Colilles, Director General de la cooperativa, quien también ha estado presente en el X Aniversario de la feria. Respecto al fin de campaña, también se muestra satisfecho con los resultados y afirma que "aunque a día de hoy aún queda en nuestros campos la variedad de mango Keitt, se han cumplido los objetivos propuestos para esta campaña".

El popular chef Dani García, atendió a los visitantes, firmó delantales e informó sobre la versatilidad del mango TROPS. Una vez más, el cocinero malagueño reafirma su posición respecto al mango defendiendo su utilización "no solo como guarnición o producto procesado, sino como protagonista e ingrediente principal en la cocina". Con esta acción, TROPS finaliza la temporada de mango que inició el pasado mes de agosto.